

智利斑岩型铜矿地质特征及成矿规律

贺明生¹, 唐 珂², 邹赣生¹

(1. 江西省地矿局赣西地质调查大队, 江西 南昌 330201 2. 江西省地矿局物化探大队, 江西 南昌 330201)

摘 要 :智利斑岩型铜矿闻名全球,世界上最大的丘基卡马塔和特尼恩特斑岩型铜矿就产于此地,主要分布在圣地亚哥-依基克一带,是地震-火山作用和侵入作用特别强烈的地区,成矿时代为拉拉米期(早白垩世—古近纪)。通过对智利斑岩型铜矿区域地质特征和 3 个典型的斑岩型铜矿床成矿地质条件及矿床地质特征分析,得出智利斑岩型铜矿成矿与多期次岩浆活动密切相关,呈南北纵向成带展布、成群出现,成矿时代新、埋藏浅、储量大。Lowell-Guilbert 的斑岩铜矿成矿模式和 Hollister 的“闪长岩模式”对智利斑岩型铜矿的勘查起了重要的指导作用。

关键词 :斑岩型铜矿;地质特征;成矿规律;智利

DOI:10.13686/j.cnki.dzyz.2014.03.022

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC REGULARITY OF THE PORPHYRY COPPER DEPOSITS IN CHILE

HE Ming-sheng, TANG Ke, ZOU Gan-sheng

(1. Western Jiangxi Geological Survey Brigade, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration, Nanchang 330201, China;

2. Geophysical and Geochemical Exploration Brigade, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration, Nanchang 330201, China)

Abstract : Chile is well known for its porphyry copper deposits in the world, with the world's largest Chuquibambilla and El Teniente deposits of such type, distributed mainly in San Diego-Iquique region, where earthquake, volcanism and intrusion is seriously intensive. The metallogenic epoch is from Early Cretaceous to Paleogene. With study on the regional geology of Chile porphyry copper deposits, as well as metallogenic conditions and geological characteristics of three typical deposits, it is found that the mineralization of Chile porphyry copper deposits is closely related with multi-stage magmatism, distributed in north-south-trending belts and occurring in groups, with new metallogenic epoch, shallow bury and large reserves. The porphyry copper metallogenic model by Lowell-Guilbert and the diorite model by Hollister play important roles in the exploration of Chile porphyry copper deposits.

Key words : porphyry copper deposit; geological characteristics; metallogenic regularity; Chile

斑岩型铜矿是一种储量大、品位低,可用大规模机械化露采的铜矿床,矿石储量往往达几亿吨,铜品位常常小于 1%。据世界上 103 个斑岩型矿床统计,单个矿床矿石量平均可达 5.5×10^8 t,铜品位 0.6%。这种矿床是世界上重要的铜矿工业类型之一,目前占世界铜总储量一半以上。斑岩铜矿伴生有多种有益组分——钼、金、银、铯、锶、碲、硫等,具有很大的经济价值。

智利斑岩型铜矿闻名全球,世界上最大的丘基卡

马塔和埃尔物尼恩特斑岩型铜矿就产于智利,铜总储量分别达 6.935×10^4 t 和 6.776×10^4 t^①。智利斑岩型铜矿主要分布在圣地亚哥-依基克一带,成矿时代为拉拉米期(早白垩世—古近纪),也是地震-火山作用和侵入作用特别强烈的地区,中生代以来强烈的构造运动和岩浆活动造就了该区良好的成矿地质条件。

1 区域地质特征

收稿日期:2013-06-21;修回日期:2013-08-02;编辑:周丽、张哲。

作者简介:贺明生(1956—),男,副总工程师,从事地质勘查工作,通信地址:江西省南昌市青云谱区京山南路 23 号,E-mail/h5033459@163.com

①江西省地质矿产勘查局.智利矿产资料汇编(内部资料).2009.

智利斑岩铜矿带主要分布于中部—北部地区。从西往东,智利北部由 5 个南北向的地貌构造—自然地理区(Sillitoe and McKee, 1996)组成:从西边的太平洋岸→海岸山脉→中部洼陷→多梅科山→前安第斯盆地→东边安第斯山(图 1),共同构成了智利“三纵二竖”的构造骨架。多梅科山区宽约 50 km,由南北向延伸的山脉和有砾石层沉积的浅盆地构成。海拔高度从 2000~4500 m^①。

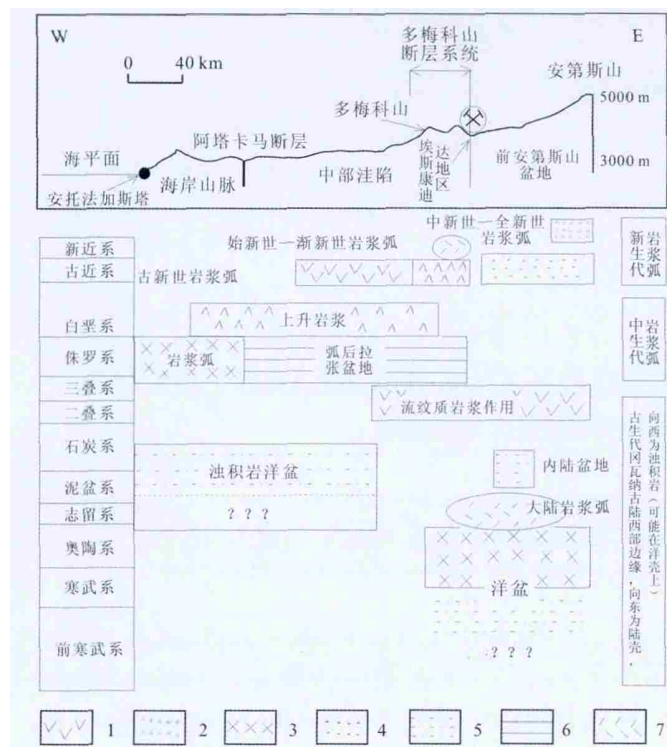


图 1 智利北部区域地质综合剖面图(上)和构造地层柱状图(下)

Fig. 1 Regional geological profile (above) and tectonic-stratigraphic column (below) of northern Chile

1—长英质火山岩,包括熔结凝灰岩、火山灰流凝灰岩和次火山侵入岩(felsic volcanic rock) 2—中性火山岩,主要是安山岩(intermediate volcanic rocks) 3—安山岩、玄武岩和镁铁质到长英质侵入岩的火山沉积组合,包括枕状熔岩、砾岩、页岩、砂岩和少量灰岩(volcanic-sedimentary assemblage) 4—内陆盆地沉积,主要为砾岩、砂岩,少量页岩和蒸发岩(inland basin sediment) 5—内陆盆地和洋盆,主要为浊积岩,外加砂岩和灰岩层(inland basin and ocean basin) 6—海相弧后沉积物,为页岩、砂岩、灰岩、蒸发岩(marine facies back-arc sediment) 7—陆内岩浆弧的岩基和岩株,为英闪岩、闪长岩、石英二长岩和花岗闪长岩(batholith and laccolith of intracontinental magmatic arc)

智利北部最早期的地质演化阶段与古生代时期冈瓦纳古陆西缘的构造有关(Ramos, 1988)^①。在前安第斯盆地和向东伸入阿根廷和玻利维亚的地区,前寒武纪晚期到古生代中期的浊积岩和火山沉积地层是在弧

内盆地打开和位于大陆前缘的各前寒武纪碎片之间闭合的时候形成。此后,前多梅科山和前安第斯盆地的隆升形成古生代中期的岩浆弧。从中志留世到石炭纪晚期由于大陆西缘的裂谷作用而形成了一个被动大陆边缘。其间,在隆升的大陆基底中(多梅科山和前安第斯盆地)、在海岸山脉深部拉张洋盆中和中部洼陷地区形成了第二套浊积岩层。二叠纪到早三叠世的流纹岩就位于大陆的西部边缘。到古生代末,古生代大陆的西部边缘及其大洋边缘已经形成,向东有厚的陆壳,向西,在洋壳上可能有浊积岩盆地沉积。

中生代在海岸山脉地区发育岩浆弧,在中部洼陷古生代基底的顶部和多梅科山区发育弧后拉张盆地。在从晚白垩世一直到新生代晚期演变出 3 条安第斯型岩浆弧的地方,主要是在中部洼陷的东界、多梅科山和安第斯山地区,形成了大陆边缘。区内最大的斑岩铜矿系统发育在 42 Ma 和 31 Ma 之间的多梅科山前地带^①。

多梅科山前地带是一条不连续的构造,由一系列南北向的断层形成,这些断层使古生代大陆的 10~50 km 宽条带的西部边缘受到了破坏,形成了中生代弧后盆地东部边缘的基底。在中生代期间形成的这一组断层从晚白垩世到新生代早期以逆断层和横推断层的形式复活,后来又以走向滑动构造的形式活动,形成了多梅科断层系统今天的几何形状。沿多梅科断层系统走滑断层的拉张带促进了含矿岩浆侵位到上地壳中。区内最大的斑岩铜矿系统发育在 42 Ma 和 31 Ma 之间的多梅科山前地带及其西部边缘。从 31 Ma 到现在,气候的变化有利于斑岩铜矿床中富集矿层的形成和保存。

2 典型斑岩型铜矿床特征

智利典型铜矿床主要有:①莫查(Mocha, 大型);②丘基卡马塔(Chuquibambilla, 超巨型);③埃克索提卡(Exotica, 特大型);④博鲁蒂斯埃洛(Politezuolo);⑤埃斯康迪达(La Escondida, 巨型);⑥萨尔瓦多(El Salvador, 超大型);⑦波特雷里尤斯(Potrerillos, 特大型);⑧安达柯洛(Andacollo, 特大型);⑨佩拉布雷斯(Los Pelambres, 特大型);⑩里奥—布兰科(Rio Blanco, 特大型);⑪迪斯普塔达(Disputada, 超大型);⑫特尼恩特(El Teniente, 超巨型)等世界知名铜矿(图 2)。现就具有代表性的 3 个斑岩型铜矿床地质特征介绍如下。

①智利地质矿产局. 智利依基克省 1:50000 区域地质调查报告. 2002.

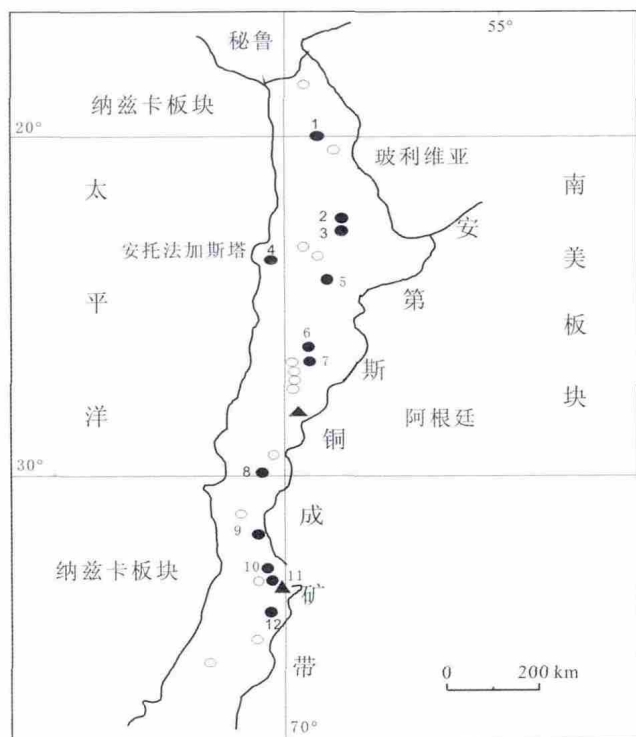


图2 智利主要斑岩铜矿分布图

Fig. 2 Distribution of significant porphyry copper deposits in Chile

●—斑岩铜矿床 (porphyry copper deposit) ○—含电气石角砾岩筒群 (tourmaline-bearing breccia pipe group)

1) 丘基卡马塔 (Chuquicamota) 斑岩铜矿

矿山位于安托法加斯塔东北约 50 km 的阿塔卡马沙漠中, 海拔 2700 m, 属世界最大斑岩铜矿, 铜储量 6.935×10^4 t, 品位为 0.56%, 整个矿体分布于丘基卡马塔斑岩内 (图 3)。矿区岩石主要是花岗质岩石, 侵入于变质岩、沉积岩和火山岩建造的杂岩中^①。花岗质岩株分布在走向 15° , 长近 32 km 的狭长地带。矿区福图纳花岗岩闪长岩分布于西部, 埃林纳花岗岩闪长岩分布于矿床之东并紧连着矿体, 与丘基卡马塔斑岩同为矿化母岩, 丘基卡马塔二长斑岩是一个伸长的脉状体, 被花岗岩闪长岩和较老的地层所围绕。斑岩与花岗质岩石之间呈明显的渐变过渡的界线。斑岩的种类很多, 有粗粒和细粒的岩相, 时代为古近纪。矿体走向 10° , 南北延长超过 3000 m, 平面上北端宽, 最宽处达 1100 m, 向南逐渐变窄而呈一狭窄的楔形, 矿体倾角大体垂直。西边以“西断裂”为界, 是由许多薄断层泥和压碎带组成的呈北东走向的大断层。它在矿山南端向西倾, 在北端变为向东倾, 倾角陡。断层西为新鲜的福图纳花岗岩闪长岩, 断层东边蚀变强烈。铜矿化见于断层的东边。斑岩、

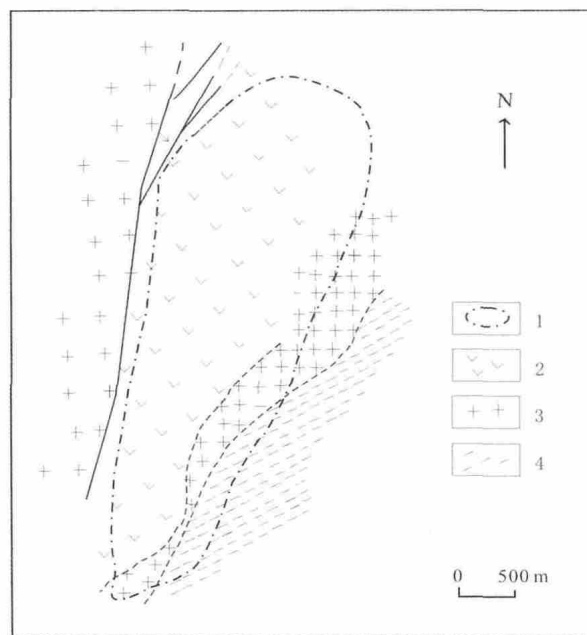


图3 丘基卡马塔矿山地质平面图

Fig. 3 Geologic map of Chuquicamota copper mine

1—露采界线 (open-cut mining boundary) 2—丘基卡马塔斑岩 (Chuquicamota porphyry) 3—埃林纳花岗岩闪长岩 (Elena granodiorite) 4—片麻岩、沉积岩、火山岩 (gneiss, sedimentary rock and volcanic rock)

矿脉和断层走向平行一致。矿体的西带最佳矿化部分宽 100~200 m, 矿石由黄铁矿、辉铜矿、硫砷铜矿和辉钼矿、铜蓝组成, 原岩已强烈蚀变为石英-绢云母-硅化区。辉铜矿主要见于邻近石英-绢云母-硅化强烈部分的石英脉边缘。铜的高品位是由于辉铜矿的次生富集。矿带东部是该矿的中央部分, 矿石由黄铜矿和铜蓝组成。岩石已泥化形成黏土矿物, 泥化区向东至绿泥石化岩区。金属矿物主要为黄铜矿和镜铁矿, 次为斑铜矿, 伴生少量闪锌矿和方铅矿。氧化矿体见于矿带的中部和东部, 厚达 300 m, 主要是块铜矿和少量水胆矾、胆矾、柱铜矿、氯铜矿、氯砷铁铜矿组成。矿区西部是一层无矿区, 矿物已完全溶滤。矿区东部氧化矿层下面, 有一层已溶滤的无矿区, 把它和邻近的富集硫化物分隔开。混合的硫化物-氧化物矿石以相当紧密的, 没有淋滤的残留的鸡冠状不规则地分布在氧化带中, 下部不规则地与原生硫化矿物相过渡。

2) 埃斯康迪达 (La Escondida) 斑岩铜矿

矿山位于智利北部沿多梅科山和前安第斯盆地西界, 铜储量 2.880×10^4 t, 平均含铜 1.60%。该矿床于 1981 年发现, 1989 年开始生产^②。埃斯康迪达矿床与

①智利地质矿产局. 智利依基克省 1:50000 区域地质调查报告. 2002.

②江西省地质矿产勘查局. 智利矿产资料汇编 (内部资料). 2009.

侵入于火山管道中的斑岩侵入体有关,其基底由古生代早期的沉积岩组成,上覆古生代晚期—早三叠世的流纹岩,盖在流纹岩之上的是各种中生代的碎屑岩和少量火山岩层。古近纪的火山岩盖在老地层之上,在埃斯康迪达,是斑岩侵入体的围岩。

埃斯康迪达矿床已被识别出 3 次岩浆侵入期。第一次科罗拉多格兰德侵入作用,锆石的 U-Pb 年龄为 37.9 ± 1 Ma。3 Ma 之后,流纹岩穹丘和流纹岩脉侵入并切割了埃斯康迪达斑岩岩株。最晚期为石英二长岩脉的侵入,切割流纹岩,没有矿化,有弱的绢云母蚀变。埃斯康迪达的热液系统发育在 33.7 ± 1.4 Ma 和 31.0 ± 1.1 Ma 之间。

埃斯康迪达矿床中的金属矿物分为内生硫化物、表生硫化物和铜的氧化物 3 个主要的矿石类型。内生硫化物占铜资源总量的 30%,主要存在于矿床的深部或其边缘;表生硫化物和铜的氧化物矿石占矿床铜总储量的 65%,其厚度变化大,从几米到 400 m 不等。铜的品位一般为 0.3% 到 2% 以上,但可超过 3.5%。铜最高品位出现在表生富集矿层厚度最大的地方。

3) 特尼恩特(El Teniente)斑岩铜矿

矿山位于首都圣地亚哥市西南约 34 km 处,海拔 2500 m,是智利第二大铜矿和世界最大的地下铜矿,铜储量 6776×10^4 t,铜品位为 0.68%。矿区主要容矿围岩为古近纪下福雷洛尼斯建造,可分为上、中、下 3 段,每段间为不整合分开^①。矿区构造以北东走向的强烈断裂带和岩脉群为主,地层(下福雷洛尼斯建造)显示宽缓的褶皱,近断层处局部形成拖曳褶皱,许多褶皱轴的走向向北。矿床最特别的构造特征是布雷登岩筒(图 4)^①。

雷登岩筒是一个在下福雷洛尼斯建造中呈倒置的圆锥形体,地表直径为 1200 m,东部近乎直立,其他处倾斜向内,西部最平,倾角约 60° 。已知的垂直延深从地表向下达 1700 m。岩筒充填物呈碎块状,胶结性好,角砾岩粒度从显微镜下所能见到的微粒至直径达 1 m 到几米的漂砾都有,大部分角砾没有分选。碎屑成分,在岩筒边部大量都是同一岩类的,但也含有明显外来的燧石碎块。此外,在本建造中还含有丰富的矿石碎屑,围绕岩筒边缘的是非常富的矿层,岩筒中的所有残余部分,铜含量为 0.2%~0.3%,并随深度而有所增加。从岩筒上部向下,石英闪长岩和英安岩的碎屑数目渐增,部分碎块是新鲜的,部分已蚀变并含有丰富的新鲜黄铜矿。矿体围绕布雷登岩筒平面呈连续的指环状,最大宽度在岩筒北侧约 600 m。矿体延深大于

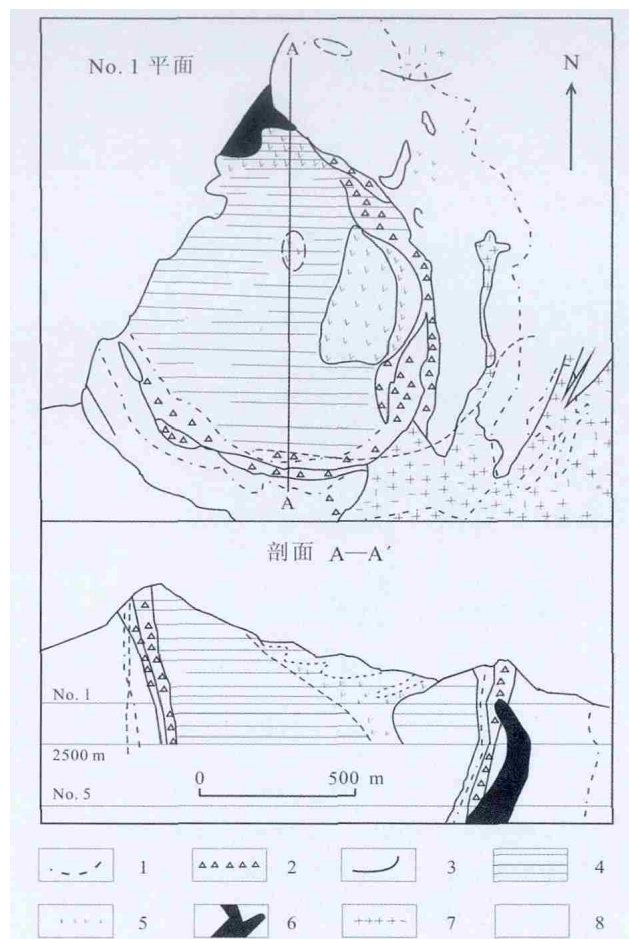


图 4 特尼恩特铜矿区平、剖面图

Fig. 4 Plan and profile of El Teniente copper deposit

1—铜矿体(copper orebody) 2—角砾岩(breccia) 3—煌斑岩(lamprophyre); 4—布雷登建造(Brayton Formation) 5—安粗斑岩(latite porphyry) 6—英安斑岩(dacite porphyry) 7—石英闪长斑岩(quartz-diorite porphyry); 8—下福雷洛尼斯建造(Lower Forilones Formation)

1300 m。矿化岩石是安山岩、石英闪长岩和英安斑岩矿体,主要由纵横交错的网状矿脉构成,大致可划分为 5 个成矿阶段。

①早期无矿石英阶段:与石英伴生的主要是黄铁矿,已粉碎和粒化。

②主要黄铜矿阶段:矿物组合为黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿和原生辉铜矿,产于石英、硬石膏和绿泥石的脉石中。

③早期电气石阶段:含有电气石、石英和硬石膏的脉石伴生黄铜矿+少量斑铜矿和黄铁矿,在局部,辉钼矿较重要,本期晚于主要黄铜矿阶段而早于布雷登建造。

④晚期电气石阶段:除电气石丰富、缺少辉钼矿外,本阶段与早期电气石阶段相似。

①江西省地质矿产勘查局. 智利矿产资料汇编(内部资料). 2009.

⑤**砷黝铜矿阶段** 晚期阶段矿化,产于后岩筒角砾岩的空隙中。砷黝铜矿、方铅矿和闪锌矿是典型的硫化物,碳酸盐是典型的脉石(包括铁白云石、方解石和菱锰矿)。常伴随黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、石英、硬石膏、石膏、重晶石、镜铁矿等矿物。

围岩蚀变:内带为石英+绢云母+黑云母+电气石化,外带绿泥石+绿帘石。

3 成矿规律与成矿模式

3.1 成矿规律

1) 南北纵向成带展布、成群出现

智利斑岩型铜矿绝大多数集中在智利中、北部的安第斯斑岩型铜钼金矿化带中,南北延长 2000 km 以上,从北部边界开始,沿安第斯高原山脉向南延伸到中部圣地亚哥以南的海岸山脉,再向东延伸接近阿根廷边界。矿带相当于智利领土长度的 1/2,位于秘鲁-智利-阿根廷安第斯斑岩铜矿带的典型地段,共有大、中、小型矿床 400 多个,包括 10 多个大型矿床。大型铜矿常成群出现,在南北向 1600 km 长的安第斯山铜矿带上,大矿集中成群,如带内北部就有 12 个储量都在 300×10^4 t 以上的大矿。

2) 铜成矿与多期次岩浆活动密切相关

在早古生代就有岩浆侵入,多为基性岩类。中生代深成岩浆活动强烈,新生代拉伸构造引发了更为强烈的岩浆活动,形成了安山岩-闪长岩类、花岗闪长岩-石英二长岩类及其相当的隐晶质的半深成的岩石等,与铜矿成矿最为密切。多期次岩浆侵入导致了多期成矿,生成了具有不同特点的矿床。

3) 成矿前围岩时代变化不定

自前寒武系至古近系都有。岩性包括变质的各种沉积岩,沉积岩中的砂岩、砾岩、页岩、灰岩和石英岩等,岩浆岩中的花岗岩、二长岩、辉绿岩等,以及各种火山岩。在中部智利的特尼恩特、萨尔瓦多和里奥-布兰科的矿化围岩主要是安山岩。本区火山岩的喷发和含矿侵入岩都属同一系列,也是同一造山时代的产物,均与斑岩型铜矿关系密切。

4) 斑岩铜矿床的围岩蚀变分带清晰

斑岩铜矿床的围岩蚀变已研究得比较详细,特别是 20 世纪 60 年代后期,洛厄尔和吉伯特研究了美国圣玛纽埃-卡拉马祖斑岩铜矿的侧向和垂直蚀变分带

后,提出了一个蚀变分带模式,即中心向外,蚀变可分为:①钾长石化(石英-钾长石-黑云母±绢云母±硬石膏);②似千枚岩化(石英-绢云母-黄铁矿);③泥岩化(石英-高岭土±绿泥石);④青磐岩化(绿泥石-绿帘石-碳酸盐、冰长石-钠长石)。此种模式,当前应用较广。智利很多斑岩铜矿也存在类似的蚀变分带情况,大致可对比。

5) 成矿时代新、埋藏浅、储量大

目前发现的大铜矿,其成矿时代主要在 4.32~56.4 Ma,主要是古近纪中期到新近纪早期。斑岩铜成矿岩体规模大,埋藏较浅,适合露采。如托尼恩特巨型铜矿的成矿岩体为英安斑岩岩体,出露面积约 1 km²。丘基卡马塔斑岩铜矿是目前世界上已知最大的斑岩铜矿床,储量达 6.935×10^4 t,资源量 1×10^8 t 以上,其主矿、北矿、南矿等三段所对应之含矿岩体有几平方千米。

6) 斑岩铜矿体普遍含电气石

斑岩铜矿床按其构造类型可分为狭义的斑岩型(网脉型)和含电气石角砾岩型两类。智利成矿带的斑岩铜矿床,除北部的丘基卡马塔、埃克索提卡以外,大多含有丰富的电气石。这在科迪勒拉山系北段的美国、加拿大、墨西哥等地,较少见。

7) 次生富集作用特别明显

智利北部有巨厚的次生富集带,品位较富。斑岩型铜矿大多发育有数十至 350 m 厚的平缓的次生富集带,含铜在 1%~3% 之间,有利于露采—堆浸—电积提铜工艺。

8) 所有斑岩铜矿床几乎都为铜钼矿床

在斑岩铜矿中,黄铁矿是最常见的硫化物,其顺序为黄铁矿、斑铜矿、硫砷铜矿和辉钼矿。典型的水平分带顺序按矿物组合为:①黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿;②黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿;③黄铁矿、黄铜矿;④闪锌矿、方铅矿、银、金等。逆向分带很少出现。斑岩铜矿床中的深成硫化物通常呈细脉状或浸染状颗粒,这种情况与破碎角砾岩作用在整个矿化范围内广泛存在有关。

3.2 成矿模式

1) Lowell-Guilbert 的斑岩铜矿成矿模式

Lowell 和 Guilbert^①对南美斑岩铜矿进行研究后,

① 江西省地质矿产勘查局. 智利矿产资料汇编(内部资料). 2009.

于 1970 年正式提出第一个概括性的斑岩系统模式. 该模式包含同花岗闪长岩-石英二长岩系列钙碱性深浅成岩共生的铜矿床. 该类矿床可具有全部几个蚀变带, 但千枚岩化带是寻找斑岩铜矿床大矿、富矿位置的重要标志^①. 该类矿床从斑岩系统中心向外的蚀变分带: 钾化核心(正长岩-黑云母)、千枚岩化带(石英-绢云母-黄铁矿)、泥岩化带(高岭石-伊利石-蒙脱石-黄铁矿)以及最外层的青磐岩化带(绿帘石-绿泥石). 这类矿又按内部构造分成网脉型和角砾岩型^②. 其成矿模式见图 5、6.

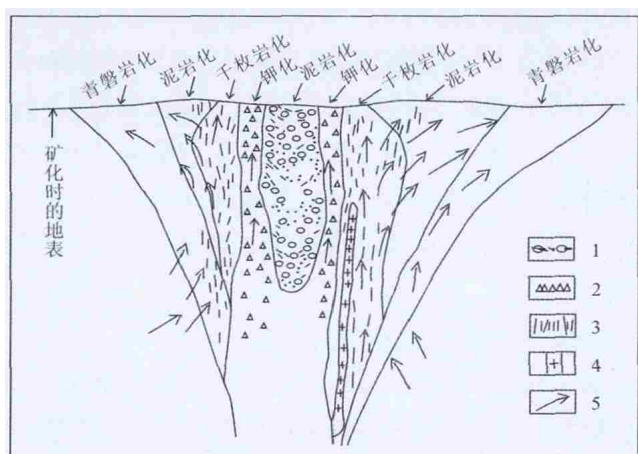


图 5 Lowell-Guilbert 模式: 网脉型

Fig. 5 Lowell-Guilbert model for stockwork type

1—卵石状的角砾岩(pebbled breccia) 2—矿石角砾岩(breccia ore) 3—环形细脉岩(annular veinlet rock) 4—环形岩墙(annular dyke) 5—水流方向(water flow)

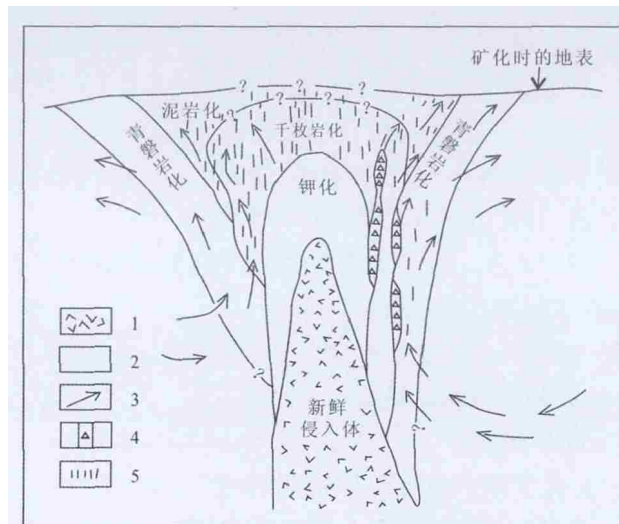


图 6 Lowell-Guilbert 模式: 角砾岩型

Fig. 6 Lowell-Guilbert model for breccia type

1—岩浆热液(magmatic hydrothermal fluid) 2—雨水热液(rain hydrothermal fluid) 3—水流方向(water flow) 4—小型角砾岩筒(small breccia pipe); 5—矿化破碎带(mineralized fracture zone)

2) Hollister 的“闪长岩模式”

适用于与中偏基性斑岩(如闪长岩岩体)有关的铜矿床. 从内向外, 一般出现如下分带: (钾长石) 黑云母-绿泥石化带——以黑云母、绿泥石为主, 细脉浸染状铜矿化, 含石膏石英网脉, Cu/Mo 比值低, 但 Au 较高. 青磐岩化带——绿泥石、绿帘石和碳酸盐矿物等 (Hollister 等, 1975).

上述成矿模式对斑岩铜矿的勘查起了重要的指导作用.

①江西省地质矿产勘查局. 智利矿产资料汇编(内部资料). 2009.